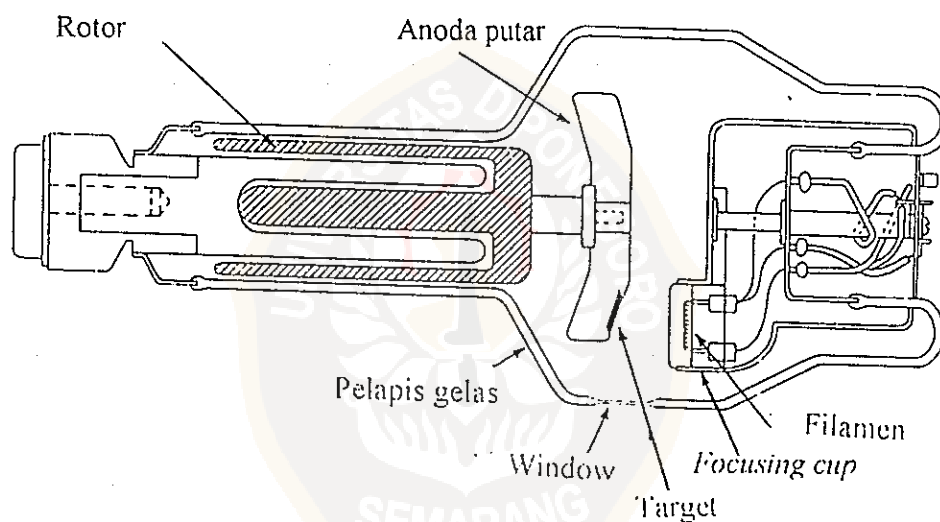


## BAB II

### DASAR TEORI

#### 2.1. Tabung Sinar-x

Komponen terpenting pada pesawat sinar-x adalah tabung sinar-x hampa udara, terbuat dari gelas pireks, mempunyai ukuran panjang 20 cm sampai 35 cm dan lebar 15 cm. Pada tabung sinar-x terdapat dua komponen penting yaitu anoda dan katoda. Gambar 2.1. menunjukkan tabung sinar-x dengan anoda putar.



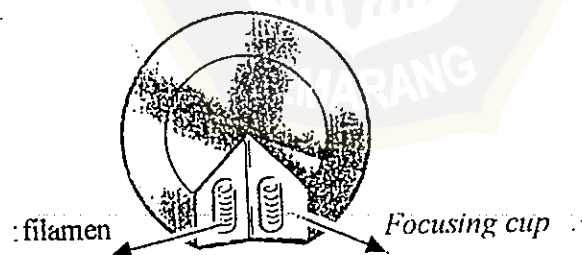
Gambar 2.1. Tabung sinar-x dengan anoda putar (Busong, 1988)

Sinar-x yang dihasilkan, akan dipancarkan keluar melalui *window* yang berukuran lebih kurang 5 cm<sup>2</sup>. Di bagian luar terdapat rumah tabung yang berfungsi untuk mereduksi radiasi berlebihan serta melindungi tabung dari

hubungan arus pendek serta untuk melindungi tabung dari tekanan mekanis (Busong, 1988).

### 2.2.1. Katoda

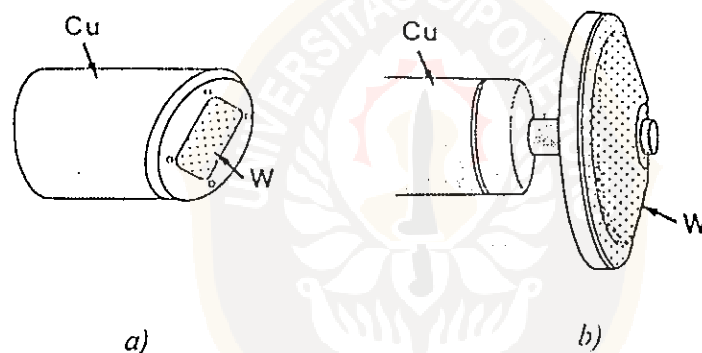
Katoda merupakan elektroda negatif pada tabung, mempunyai dua bagian utama yaitu filamen dan *focusing cup*. Filamen terbuat dari kawat tungsten mempunyai diameter kira-kira 2 mm dan panjangnya 1-2 cm. Tungsten digunakan sebagai pilihan bahan karena mampu menyerap panas sampai  $3380^{\circ}\text{C}$ . Fungsi filamen adalah untuk menghasilkan elektron. Bila filamen diberi arus akan terdapat awan elektron disertai peningkatan panas pada filamen. *Focusing cup* merupakan tempat kedudukan filamen yang berfungsi untuk mengarahkan elektron. (Meredith dan Massey, 1977). Filamen dan *Focusing cup* ditunjukkan pada gambar 2.2 dibawah ini.



Gambar 2.2 Filamen dan *focusing cup* (Meredith dan Massey, 1977)

### 2.2.2. Anoda

Anoda merupakan elektroda positif pada tabung, terdapat dua jenis anoda yaitu anoda tetap dan anoda putar. Didalam anoda terdapat target yang terbuat dari tungsten berfungsi sebagai tempat sasaran elektron katoda. Pada anoda tetap bahan target ditanam pada logam tembaga, sedangkan pada anoda putar, target berupa lempengan bulat. Hal ini dapat dilihat pada gambar 2.3. Target terbuat dari tungsten, karena mempunyai nomor atom tinggi (79) sehingga dapat memproduksi Sinar-x dan energi yang besar (Busong, 1988).

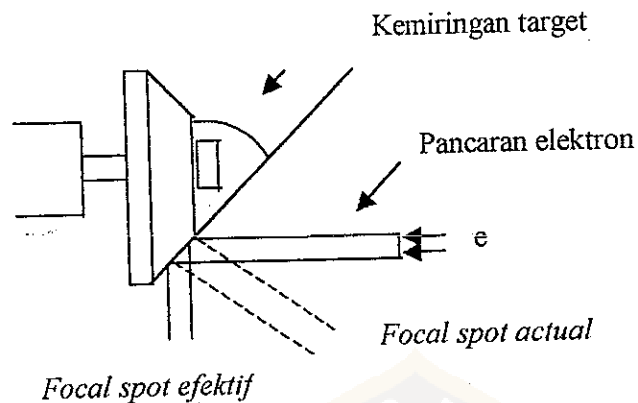


Gambar 2.3. a) Anoda tetap dan b) Anoda putar (Busong, 1988)

Daerah pada target yang menjadi sasaran elektron katoda ketika menumbuk anoda disebut *focal spot*. Dalam menentukan ukuran *focal spot* bukan daerah *focal spot* sebenarnya (*focal spot aktual*) yang dijadikan

pengukuran tetapi daerah imajiner yang terbentuk dari kemiringan target (*focal spot effective*) (Busong, 1988)

Keadaan tersebut diperlihatkan pada gambar dibawah ini.

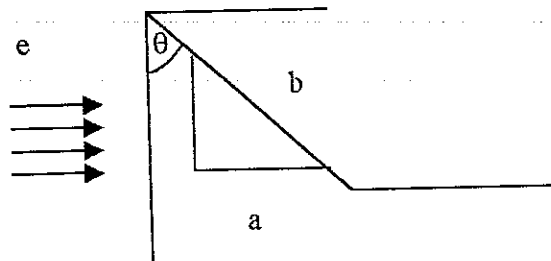


Gambar 2.4. Skema pembentukan ukuran focal spot efektif (Busong, 1988)

Dari situasi geometri target dengan kemiringan tertentu, ukuran *focal spot* efektif (gambar 2.5) dapat dirumuskan :

$$a = b \sin \theta \quad (2.1)$$

dengan ,  $a$  adalah *focal spot* efektif,  $b$  adalah *focal spot* aktual dan  $\theta$  adalah sudut permukaan target terhadap pusat sinar.



Gambar 2.5. *focal spot* efektif (Meredith dan Massey, 1977)

Pada pengukuran *focal spot* efektif dalam praktek ditentukan dengan menggunakan alat *pinhole camera*.

Di Amerika Serikat, NEMA (*The National Electrical Manufacturing Association*) membuat standar pengukuran *focal spot* efektif dengan variasi arus tabung seperti terlihat pada tabel dibawah ini.

Tabel 1. Ukuran standart *focal spot* efektif untuk arus tabung tertentu oleh NEMA (Curry, 1984).

Ukuran fokal spot (mm)	mili Ampere
< 0,4	15
0,5 – 0,9	50
1,0 – 1,4	100
1,5 – 1,9	200
> 2,0	300

## 2.2. Produksi dan Mekanisme terjadinya Sinar-x

Sinar-x terjadi bila elektron pada filamen diberi beda potensial yang sangat tinggi sehingga elektron bergerak dengan kecepatan tinggi menumbuk target. Lebih kurang 1% energi kinetik diubah menjadi sinar-x dan 99% diubah menjadi panas (Meredith dan Massey, 1977).

Tabung sinar-x dibuat hampa udara dengan tujuan untuk menghindari gesekan molekul udara dan elektron katoda yang memancar. Masing-masing elektron yang memancar mempunyai energi sebesar :

$$E = eV \quad (2.2)$$

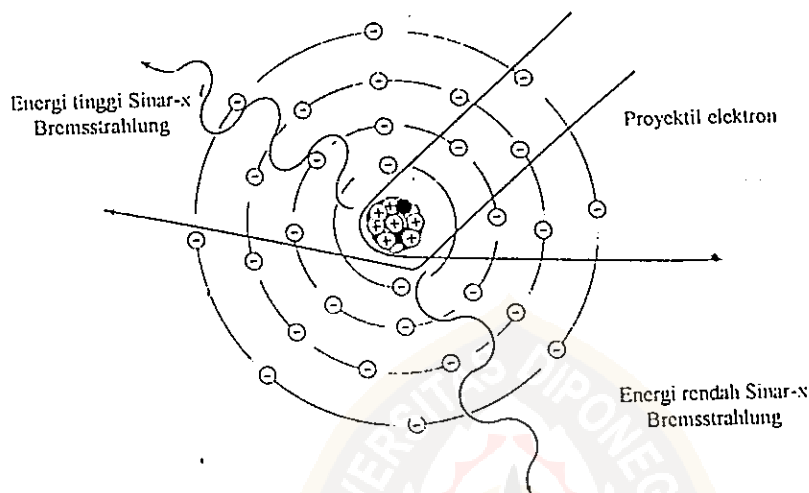
dengan , E adalah energi (Joule), e adalah massa elektron (kilogram) dan V adalah beda potensial (Volt)

Sinar-x termasuk gelombang elektromagnetik yang mempunyai kecepatan sebesar  $3 \cdot 10^8$  m/detik dan mempunyai panjang gelombang berkisar 10 nm. Suatu gelombang elektromagnetik mulai ditimbulkan dengan mempercepat suatu partikel bermuatan, bila hal ini terjadi, sebagian energi dari partikel bermuatan ini diradiasikan sebagai radiasi elektromagnetik. Gelombang-gelombang tersebut terdiri dari medan listrik dan medan magnet yang bergetar dan saling tegak lurus satu sama lain dan satu sama lain tegak lurus terhadap arah perambatan gelombang (Cember, 1983)

### 2.3 Mekanisme terjadinya Sinar-x

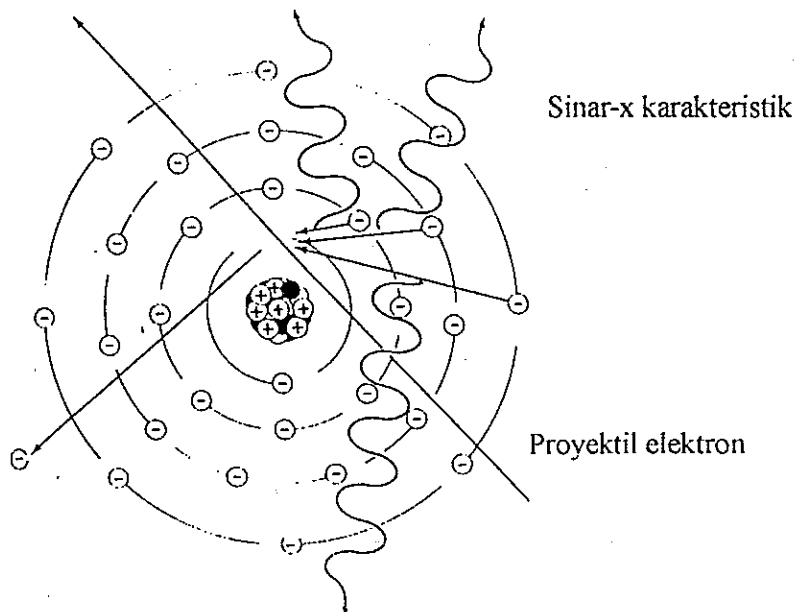
Sinar-x dapat dihasilkan melalui dua proses. Jika filamen diberi arus maka akan terdapat awan elektron di sekitar filamen disertai peningkatan panas pada filamen. Beda potensial yang sangat tinggi akan menyebabkan elektron bergerak dengan cepat dan secara tiba-tiba akan dihentikan target. Elektron

yang menumbuk target bergerak mendekati inti atom, akan menyebabkan terjadinya gaya Coulumb sehingga terjadi pembelokan arah. Pembelokan arah tersebut menyebabkan perlambatan kecepatan sambil memancarkan sinar-x Bremsstrahlung. Skema Sinar-x Bremsstrahlung ditampilkan pada gambar di bawah ini.



Gambar 2.6 Sinar-x Bremsstrahlung (Khan, 1992)

Jika elektron yang menumbuk target menyebabkan terpentalnya elektron pada kulit atom target dan keluar dari orbitnya (misal pada kulit K), maka elektron dari kulit L akan mengisi kekosongan hole pada kulit K sambil memancarkan Sinar-x. Kekosongan hole pada kulit L akan diisi elektron dari kulit M dan seterusnya. Sinar-x yang demikian disebut sinar-x karakteristik (Khan, 1992).



Gambar 2.7 Sinar-x Karakteristik (Busong, 1988)

### 2.3.1. Sifat Sinar-x

#### a. Daya tembus besar

Sinar-x merupakan gelombang elektromagnetik yang mempunyai panjang gelombang sangat pendek, sehingga daya tembusnya besar. Sifat ini dimanfaatkan di bidang kedokteran khususnya untuk diagnostik dan terapi.

#### b. Efek fluoresensi

Sinar-x dapat menyebabkan efek fluoresensi yaitu bila mengenai bahan, akan menyebabkan bahan tersebut memancarkan cahaya tampak. Efek ini dimanfaatkan dalam pembuatan *Intensifying screen* (lembar penguat).

#### c. Efek fotografis

Sinar-x dapat menyebabkan penghitaman pada film. Bila sinar-x mengenai film akan terjadi proses penghitaman. Proses ini dapat terlihat setelah



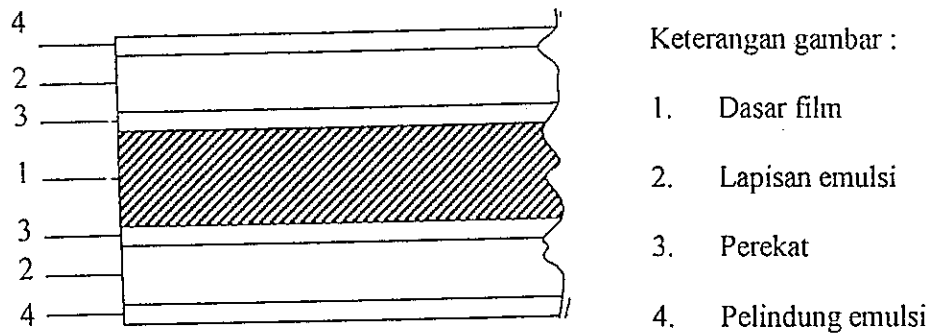
dilakukan pemrosesan secara kimiawi. Efek tersebut digunakan pada pembuatan radiograf (Meredith dan Massey, 1977).

d. Efek biologis

Penyinaran yang terus menerus dapat menyebabkan kerusakan pada jaringan tubuh, menyebabkan nekrose jaringan. Sinar-x juga dapat menyebabkan kanker kulit dan kanker darah bila terkena dalam jangka waktu lama dengan dosis rendah (Meredith dan Massey, 1977).

#### 2.4. Proses Pembentukan Bayangan

Untuk mendapatkan gambar radiograf digunakan film rontgen. film rontgen tersusun dari lapisan dasar, dua lapisan emulsi dan lapisan pelindung emulsi seperti ditunjukkan gambar 2.8. Lapisan emulsi terbuat dari bahan gelatin sebagai bahan dasar dan AgBr (Perak bromida) yang bersifat sensitif terhadap cahaya. Pada lapisan emulsi terdapat pelindung yang berfungsi melindungi film dari pengaruh mekanis. Lapisan dasar film terbuat dari *cellulose acetat*, tapi dalam perkembangannya, bahan tersebut terbuat dari *Polyester* (Busong, 1988).

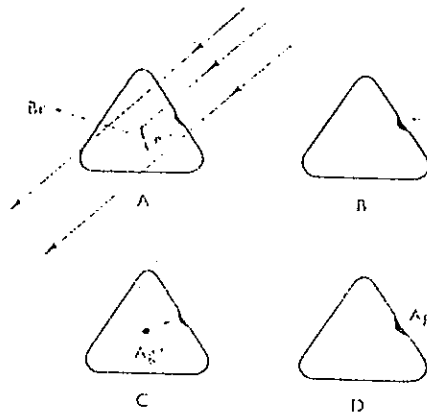


Gambar 2.8. Skema penampang lintang film rontgen (Meredith dan Massey, 1977)

#### 2.4.1. Proses pembentukan bayangan laten

Bila sinar-x mengenai obyek dan diterima film, banyaknya sinar-x yang mengenai film berbeda-beda tergantung penyerapan sinar-x oleh obyek, sehingga terbentuk bayangan laten. Pada proses ini bayangan belum tampak dan akan tampak setelah dilakukan pemrosesan film.

Pada permukaan kristal AgBr terdapat "titik sensitivitas" yang akan menangkap elektron sehingga membentuk logam perak. Proses pembentukan bayangan laten dapat dilihat pada gambar di bawah ini.



Gambar 2.9. Pembentukan bayangan Laten (Meredith dan Massey, 1977)

- A. Foton Sinar-x mengenai kristal AgBr ( $\text{AgBr} + \text{foton} \rightarrow \text{Ag}^+ + \text{Br}^-$ )
- B. Foton Sinar-x ditangkap oleh “titik sensitivitas” pada kristal sehingga pada titik tersebut bermuatan negatif. Pada proses ini ion  $\text{Br}^-$  berubah menjadi atom Br yang netral dan melekat pada gelatin ( $\text{Br}^- + \text{foton} \rightarrow \text{Br} + e^-$ )
- C. Titik sensitivitas akan menarik ion  $\text{Ag}^+$
- D. Ion  $\text{Ag}^+$  berubah menjadi atom Ag netral ( $\text{Ag}^+ + e^- \rightarrow \text{Ag}$ )

#### 2.4.2. Pembentukan bayangan laten menjadi bayangan tampak

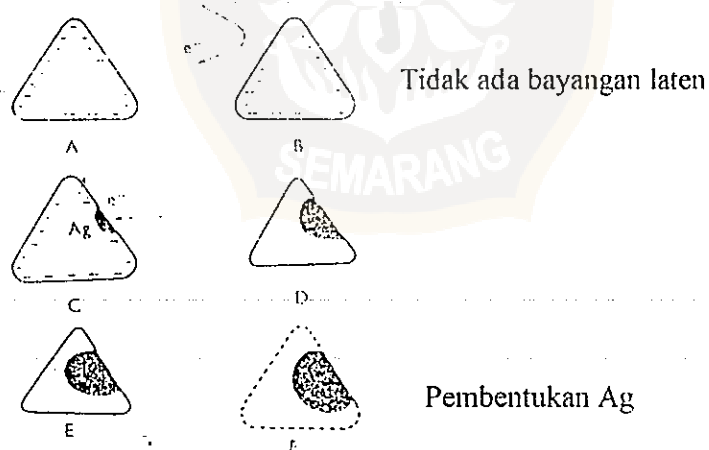
Bayangan laten yang terbentuk belum bisa dilihat, untuk mendapatkan bayangan tampak, dilakukan pemrosesan film secara kimiawi melalui beberapa tahap.

a. Proses pengembangan

Pada proses ini digunakan cairan pengembang yang berfungsi untuk mengubah bayangan laten menjadi bayangan tampak. Bahan pengembang terdiri dari :

1. *Reducing agent* terdiri dari *Metyl Hydroquinon* yang merubah  $Ag^+$  menjadi Ag.
2. *Accelerator*, terdiri dari natrium karbonat berfungsi sebagai pengaktif *reducing agent*.
3. *Precervative* terdiri dari natrium sulfat berfungsi mengurangi oksidasi *reducing agent*.
4. *Restreiner* terdiri dari kalium bromida, berfungsi membatasi daya kerja *reducing agent*.
5. *Solvent agent* terdiri dari air sebagai bahan pelarut.

Skema proses pengembangan ditunjukkan pada gambar 2.11



Gambar 2.10. Proses Pengembangan (Meredith dan Massey, 1977)

Pada cairan pengembangan ini terjadi proses perubahan kristal-kristal AgBr yang mengandung bayangan laten menjadi Ag. Kristal yang tidak mengandung bayangan laten tidak mengalami perubahan. Perubahan AgBr menjadi Ag terjadi bila cairan pengembang memberi elektron pada kristal, bahan ini disebut *Reducing agent*. Pada gambar A dan B terdapat komponen negatif dari AgBr yang tidak terkena sinar, mengakibatkan tidak adanya perubahan. Pada gambar C – F, AgBr mempunyai bayangan laten terdapat atom-atom Ag permukaan kristal, mengakibatkan elektron bahan pengembang mereduksi ion-ion Ag dan berlangsung sampai ion Ag berubah menjadi atom Ag dan ion-ion  $\text{Br}^-$  akan larut dalam cairan pengembang. Dalam cairan pengembang, atom Ag berubah menjadi  $\text{Ag}_2\text{O}$  berwarna hitam dan tampak menjadi bayangan nyata (Meredith dan Massey, 1977).

b. Proses pembilasan pertama

Proses pembilasan ini berfungsi untuk menghilangkan sisa-sisa cairan pengembang pada cairan pengembang pada film yang sudah tidak diperlukan. Bahan yang digunakan adalah air yang mengalir selama lebih kurang 30-40 detik.

c. Proses penetapan

Proses penetapan dilakukan dengan menggunakan cairan penetap..

Bahan ini terdiri dari :

1. *Fixing Agent* berfungsi melarutkan sisa-sisa Ag yang tidak terkena sinar.
2. *Accelerator* berfungsi menghentikan proses pengembangan dengan cepat dan merata, bahannya *amonium thiosulphate*.
3. *Precervative* terdiri dari *Natrium sulphate* berfungsi mencegah terjadinya oksidasi.
4. *Hardener* terdiri dari *Kalium Alamina* berfungsi sebagai penguat emulsi film.
5. *Buffer* terdiri dari asam asetat berfungsi sebagai bahan penyeimbang pH cairan penetal.
6. *Solven agent* terdiri dari air sebagai pelarut.

d. Proses pembilasan kedua

Proses ini berfungsi untuk menghilangkan cairan-cairan kimia yang menempel pada film, bahan yang digunakan adalah air, dan prosesnya berlangsung kurang lebih 30 menit.

## 2.5. Magnifikasi (Pembesaran)

Di bidang kedokteran, pembuatan gambar radiografi digunakan untuk penentuan diagnosa suatu penyakit. Dalam situasi klinis, obyek mungkin berupa struktur organ tubuh, benda asing dalam tubuh atau tumor (Curry, 1984). Jika bayangan obyek pada gambar mengalami perubahan dari ukuran obyek sebenarnya, dikatakan obyek tersebut mengalami magnifikasi. Besarnya magnifikasi dapat dicari dengan membandingkan ukuran bayangan

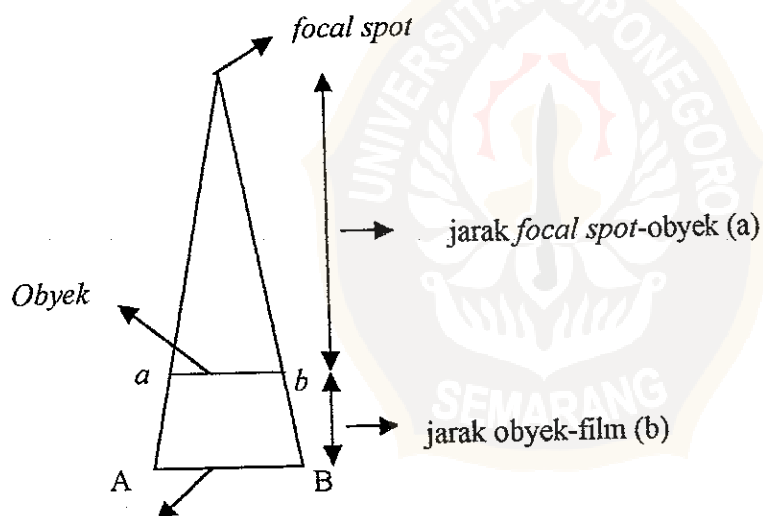
(AB) terhadap ukuran obyek (ab), secara matematis dapat dinyatakan sebagai :

$$M = \frac{AB}{ab} \quad (2.3)$$

Persamaan (2.3) tersebut dapat dijelaskan pada gambar 2.11.

Pada prakteknya, menentukan magnifikasi tidak dapat ditentukan secara langsung menggunakan persamaan (2.3) karena obyek berada di dalam tubuh. Dengan membandingkan jarak *focal spot* efektif ke film terhadap jarak *focal spot* efektif ke obyek, besar magnifikasi dapat diperoleh dan ukuran obyek sebenarnya dapat ditentukan (Curry, 1984).

Skema magnifikasi geometri seperti tampak pada gambar di bawah ini.



Bayangan obyek

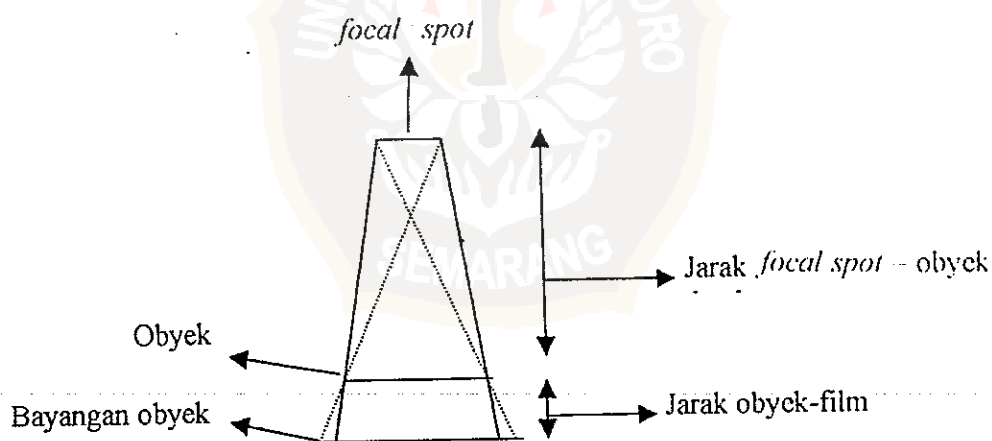
Gambar 2.11. Skema Magnifikasi

Besar magnifikasi dapat dirumuskan :

$$m = \frac{a + b}{a} \quad (2.4)$$

dengan,  $m$  adalah magnifikasi geometri,  $a$  adalah jarak *focal spot* – obyek dan  $b$  adalah jarak obyek film

Bila sumber sinar (*focal spot*) merupakan satu titik, penghitungan magnifikasi dengan menggunakan persamaan (2.4) adalah benar, tetapi pada pesawat sinar-x, *focal spot* efektif mempunyai ukuran-ukuran tertentu sehingga penghitungan magnifikasinya menjadi berbeda. Pada keadaan tersebut magnifikasi dihitung dengan memperhatikan ukuran *focal spot* efektif dan ukuran obyeknya, sehingga diperoleh nilai magnifikasi total ( $M$ ) atau magnifikasi radiografi. Skema pembentukan magnifikasi radiograf ditunjukkan pada gambar 2.12.



Gambar 2.12. Skema Magnifikasi radiografi (Curry, 1984)



magnifikasi radiograf dirumuskan :

$$M = m + (m - 1) \frac{f}{d} \quad (2.5)$$

dengan, M adalah magnifikasi radiograf, m adalah magnifikasi geometri,

f adalah ukuran *focal spot* efektif dan d adalah ukuran obyek .

Persamaan di atas menunjukkan bahwa magnifikasi radiograf atau magnifikasi total (M) merupakan fungsi perbandingan ukuran *focal spot* efektif terhadap obyek (f/d).

